

N 段結合を有するマス・ばね・ダンパ系の波動制御

システム制御研究室 60190119 箕土路拓也

2018 年 10 月 25 日発表

実際の構造物

Q. 実際の建築物の振動を N 段結合で表すことができますか。

A. 振動モードを有する構造物であれば、可能だと考えられます。

Q. すごく基本的な質問で申し訳ないのですが、 N 段結合は現実世界の何に適用可能なのでしょうか？

A. 現在は、マス・ばね・ダンパ系の波動制御の拡張ということで、モデルの発展に重点を置いています。適用を想定するものとして、繰り返し構造物の中でも、 $N = 1, 2$ では表現しきれないような、複雑な繰り返し構造を有する構造物を考えています。

Q. 実際のモデルは現在考慮されていないとおっしゃっていましたが、将来的には一般的なビル等の建造物に当てはめるのでしょうか。

A. システムは一様であることから、 N 段結合は、各層が離れた質点とも、隣層と同じだけ強い結合を持つことになり、単純な構造物への適用は難しいと考えられます。物理パラメータ (m, d, k) にある程度の柔軟性を持たせて、部分的に結合の強さを変えることで、より現実の構造物に適用しやすくすることも考えております。

Q. 実際の建物は何段ほどの結合になるのでしょうか。

A. 高層ビル等は、単段結合によるモデル化が一般的です。

Q. 実際にこういったものに用いられるのですか。

A. $N = 1$ では高層ビル等に、 $N = 2$ ではテンセグリティビームに対応します。

固有値の特性

Q. $\lambda_i^- \lambda_i^+ = 1$ とできる利点は何かありますか？（固有値）

A. 互いに対になる反射波と入射波を、それぞれ N 組ずつ定義することができます。

システムの拡張

Q. 単段結合の場合、一定比で変化させるのは分かりやすいが、 N 段結合の場合、どこを一定比変化させるのか。

A. 単段結合の場合と同様に、層ごとに物理パラメータ m, d, k を変化させることを考えています。また N 段結合では、同じ層の単段・二段・三段、 N 段のばね・ダンパについて、 d, k を変化させることも一つの構想です。

実装上の問題

Q. 実装する際の具体的なイメージはどのようなになっていますか。

A. $N = 1$ の場合は高層ビル等が対応しますので、一例として、アクティブ動吸振器により制御力を与えます。 $N = 2$ では、テンセグリティビームが対応しますので、システムを構成する張力材の張力制御でもって制御力とします。

Q. 端でも問題なく振動を消すことができるのでしょうか。

A. 波動制御では基本的には、境界における波の反射を打ち消します。

システムの特徴

Q. 反射波が複雑になる場合とはどのようなものが考えられますでしょうか。

A. 本システムは、境界条件は一定としていますが、ばね・ダンパの結合如何によっては複雑な反射波が発生すると考えられます。

Q. 系の大きさに制御は依存するのか。

A. 系の大きさを層数 n と解釈するのであれば、依存しません。段数 N と解釈するのであれば、コントローラの入出力は N 入力 N 出力となります。

Q. 一部のダンパが抜けている状態でも比較的安定した制振効果を得られるのでしょうか。

A. 現在、結合の一部が欠落した場合の制御等については考慮しておりません。

Q. 結合系を1段増やすごとにどれぐらいの制振効果が得られるのでしょうか。

A. 反射を0とすることから、特に段数には依存しません。

システムの利点

Q. N 段結合を有するマス・ばね・ダンパ系によってどのようなことが新たにできるようになりますか。

A. より広い範囲のシステムに波動制御法を適用することができます。

口頭での質問

Q. 反射波0という考えはどこから来ているのか。

A. 波動制御では、構造物の振動を波の重ね合わせで表現します。この波は構造物の頂上（開放端）で反射を起こします。そのため、システムの境界で起きる波の反射を打ち消すことにより、振動（波）の抑制を行います。

Q. 今後の一定比というのはどのように考えるのか．なんで一定比なのか．

A. 物理パラメータ m, d, k が層ごとに一定の比で変化することです．単段結合系では，システムが一定比で変化する場合への拡張がなされており， N 段結合系でも，システムに拡張性を持たせたいので，今後の課題として一定比を考えました．

Q. （一定比について）どんな実物のイメージなのか，三角形の建物のような感じか．

A. 物理パラメータ (m, d, k) が，一層ごとに定数倍されるので，パラメータは等比級数的に変化します．よって三角形のような直線的な変化ではなく，指数関数の曲線を持つようなスケールの変化になると考えられます．一定比 $a < 1$ とすれば，先が細くなっていくような塔状構造物などが例に挙げられると思います．

Q. 境界近くでは N 段結合も減るはず．それは考慮されているのか．

A. 問題ありません．まず，マス・ばね・ダンパ系に対して，回路類推を行うことにより，類推回路を導出します．この類推回路は層ごとに $2N$ 端子対回路で区切ることができ，この場合層ごとに漸化式（伝送行列）を導出することができます．機械系では運動方程式から漸化式を導くため，離れた層の関係を考慮する必要がありますが，回路系では層ごとの入出力のみに着目して計算を行うことができるため，境界条件を考慮したうえで，漸化式の導出を行うことができます．